Ein neuer Sphygmograph

und

neue Beobachtungen an den Pulscurven der Radialarterie

von

Dr. Julius Sommerbrodt,
Privatdocent der speciellen Pathologie und Therapie an der Universität Breslau.

Mit 1 Tafel und 35 eingedruckten Holzschnitten.

Breslau, 1876.

Verlag von A. Gosohorsky's Buchhandlung.
Adolf Kiepert, Hofbuchhändler.

Ich übergebe die nachstehende am 14. Januar d. J. in der medicinischen Section der schlesischen Gesellschaft für vaterländische Cultur zum Vortrag gebrachte Arbeit den Fachgenossen in der Hoffnung, dass sie durch dieselbe Anregung zu neuen oder frühere Forschungen controlirenden sphygmographischen Untersuchungen empfangen mögen, und glaube ihnen zu diesem Zweck ein besseres Hilfsmittel zu bieten, als ihnen bisher bekannt war.

Breslau, den 1. April 1876.

Der Verfasser.

Mit der Absicht umgehend vergleichende sphygmographische Untersuchungen zu verschiedenen Zeiten bei demselben Individuum zu unternehmen, musste ich mir sagen, dass der bisher allgemein gebrauchte Marey'sche Apparat nicht die genügende Exactität für diesen Zweck darbiete, da der Hauptfactor, auf dem derselbe beruht, — die Federwirkung — eine inconstante und schwer controlirbare Grösse ist. Verschieden starke Anschlingung des Apparates an den Arm muss nicht unerhebliche Aenderung in der Federspannung und dadurch der Curvenzeichnung zu Wege bringen und diese verschiedene Application ist nicht leicht zu vermeiden.

Der Umstand, dass bisher fast alle Untersuchenden nur den Marey'schen Sphygmographen benutzt hatten, konnte mir nicht massgebend erscheinen.

Durchdrungen andererseits von dem hohen Werth der von Vierordt zuerst versuchten, von Landois geförderten Methode unter Belastung der Arterie deren Bewegungen auf einen Hebel zu übertragen, wodurch die Möglichkeit gegeben ist, bei jedesmaligem Gebrauch durchaus mit bekannten und genau bestimmbaren Grössen zu rechnen, wandte ich mich nach Greifswald an Herrn Mechanikus Demmin mit der Bestellung eines Angiographen.

Ich hoffte, der Angiograph, den Landois in seinem Werk über den Arterienpuls [1]) schematisch abbildet und beschreibt, und mit dem er zwar nicht die Untersuchungen an den mensch-

[1]) Landois, Die Lehre vom Arterienpuls. Berlin 1872.

lichen Schlagadern, wohl aber seine Experimente an elastischen Schläuchen angestellt hatte, werde den Anforderungen entsprechen, welche ich zum Zweck meiner beabsichtigten Untersuchungen machen musste.

Allein das mir im Juli 1875 übersandte Instrument zeigte sich mir als ein nicht geglückter Versuch des Herrn Mechanikers den bei den experimentellen Untersuchungen an elastischen Schläuchen nützlichen Angiographen der praktischen Sphygmographie dienstbar zu machen. Erstens war der Apparat durchaus nicht fest fixirbar am Arme, so dass schon das Vorüberrollen des Ramens mit dem Schreibtäfelchen constant erhebliche Schwankungen des Apparats verursachte und somit jeder sichere Schluss auf die Veränderung des Blutdrucks, so weit er sich aus der Abweichung von der Grundlinie der Curvenreihe ziehen lässt, unmöglich wurde.

Zweitens stürzten Zufälligkeiten oft das ganze Princip des Apparates um. Nach der Theorie bildet die auf der Arterie aufliegende Pelotte den einen und längeren Arm eines zweiarmigen aequilibrirten Hebels, der andere kürzere Arm trägt das Gegengewicht und soll natürlich in seiner Bewegung unbehindert sein. Letzteres war wohl der Fall bei mageren Armen, bei fleischigeren aber drückten die Weichtheile des Vorderarmes den zweiten Hebelarm fest an das Gerüst des Apparates, so dass nun der die Pelotte tragende Hebelarm nicht nur in seinen Bewegungen behindert, sondern sogar — durch seine schlanke Bauart biegsam — zur Feder wurde. Hiermit hörte dann natürlich jede Genauigkeit der Kenntniss über die Belastung der Arterie auf.

Ich habe mich desshalb bemüht, mit Wahrung der erwiesenen Vorzüge des Angiographen, besonders mit Beibehaltung des Schreibhebels mit senkrechtem Auf- und Niedergehen, übrigens unter Einführung noch grösserer Vereinfachung des Apparates, einen praktischen Sphygmographen herzustellen. Der in Nachstehendem beschriebene bietet, wie mir scheint, alle Vortheile der bisher gekannten Apparate, ist denselben aber und besonders dem Marey'schen Sphygmographen unzweifel-

haft überlegen, ganz abgesehen von seinem Werth, wenn es sich um vergleichende Feststellungen zu verschiedenen Zeiten handelt.

Mein Apparat (vergl. die beigegebene Tafel) besteht aus einem 11,5 Cm. langen, 2,2 Cm. breiten Metall-Ramen (a), in dessen Lichtung ein einarmiger Hebel von 8,5 Cm. Länge und nicht biegsam mit dem zwischen Spitzen liegenden Fixirungspunkte bei c eingefügt ist, und welcher durch den an einem Ramentheil gleitenden Schieber d bis zum jedesmaligen Gebrauch getragen wird. Das freie Ende des Hebelarmes schwillt auf der unteren Fläche zu einer kleinen Pelotte an; auf der oberen erhebt sich ganz nahe dem Ende eine durch ein feines Gewinde geriefte 3,5 Cm. hohe Stange (e), welche nach dem punctum fixum des Hebelarmes zu gegen eine schwache Federvorrichtung umgebogen werden kann. Einen Centimeter weiter zurück erhebt sich auf einer 5 Cm. hohen Stütze das Schälchen (f) zur Aufnahme der Gewichte. Der ganze Hebelarm inclusive f und e wiegt 20 Gramm.

Durch die Erhabenheiten bei g geht eine Axe, welche entsprechend der gerieften und durch Federkraft angedrückten Stange ein kleines feingezähntes Rad (h) trägt und ausserdem den ebenfalls fest auf der Axe sitzenden aequilibrirten Winkel-Hebel. Der eine Arm des letzteren trägt ein Schilfrohr (k) und an dessen Ende einen gabelförmigen Aufsatz, in dem ganz lose befestigst an einer Queraxe der flach gekrümmte Zeichenstift (l) aus feinem Draht pendelt.

Zur Befestigung am Arme befinden sich am unteren Theile des Hauptramens zwei in Charnieren gehende Seitenschienen (m) mit Haken zum Anschlingen. An den hinteren Theil des Ramens ist bei n der 8,5 Cm. lange, im hintersten Theil leicht aufgebogene Träger des Uhrwerkes (o) und quer zur Axe dieses Trägers ein 12,5 Cm. langer, 0,3 Cm. dicker Querbalken (p) aufgeschraubt, durch dessen hülsentragende Enden die beiden 12,5 Cm. langen Stäbe (q), durch Schrauben fixirbar, hindurch gehen.[1])

[1]) Universitäts-Mechanikus C. G. Pinzger, Breslau, Alte Taschenstrasse 9, liefert den Apparat mit dem nöthigen Zubehör für 90 Mark; mit Etuis 95 Mark, in Mahagoni-Kasten 100 Mark.

Ich habe mich nicht wie Landois des zweiarmigen aequilibrirten, sondern des einarmigen Hebels bedient. Landois Vorrichtung ist nämlich nur dann nöthig, wenn man den Apparat ohne jede oder mit minimalster Belastung arbeiten lassen will, und dies ist äusserst selten; die meinige aber in allen Fällen nützlich, wo man eine Belastung von mehr als 20 Gramm braucht, d. h. so gut wie immer. Mein Instrument ist vorzugsweise für die dem praktischen Bedürfniss am meisten entsprechenden Untersuchungen an der art. radialis bestimmt; für diesen Zweck wird man aber stets, selbst bei noch so schwachem Pulse in der Nothwendigkeit sein, die arterie mit mehr als 20 Gramm zu belasten und so ist es eben einfacher den einen Hebelarm selbst schon als Gewicht wirken zu lassen. Bedenkt man dazu, dass man bei mittelkräftigem Pulse gesunder Menschen zumeist 200 bis 300 Gramm Belastung braucht, um eine gute Ausprägung aller Theile und Einzelheiten der Pulscurven zu erhalten, so ist es für die Handhabung in der That angenehm durch Mitwirkung des Hebelarmes als Gewicht das Auflegen einer gewissen Menge von Gewicht auf das Schälchen zu ersparen. Natürlich muss das Hebelgewicht immer mit berechnet werden.

Was die Fixirung des Apparates anlangt, so ist dieselbe durch die seitlichen Stützen (q) eine absolute, wie ich sie bisher an keinem Apparate gefunden habe.

Bei dem Gebrauch des Instruments bezeichnet man sich zunächst den Punkt, wo die Arterie gut pulsirend gefühlt wird. Unter das Handgelenk des entweder hoch im Verhältniss zum Tisch sitzenden oder des liegenden Untersuchten schiebe man eine flache Stütze, etwa ein schmales Buch. Danach setzt man die Pelotte auf die bezeichnete Stelle, den Fuss unter p auf den Vorderarm, lässt die Stäbe durch die Hülsen bis auf den Tisch gleiten und fixirt sie. Darauf schlingt man mässig fest bei emporgehobenem Arm ein nicht zu schmales Band um Arm und alternirend um die Haken der Seitenschienen. Nach dem Niederlegen des Armes controlirt man die Seitenstäbe nochmals.

In der jüngsten Zeit habe ich mir anstatt dieses Bandes noch eine andere, leichter anzulegende Befestigungsvorrichtung

ersonnen und dieselbe angewendet. Sie ist jedoch desshalb in der Zeichnung nicht abgebildet, weil ich alle nachstehenden Curven mit der früheren Befestigung gewonnen habe.

Ich zog mir durch eine besonders breit angefertigte (7 Ctm.) Emmert'sche Schnalle regelrecht eine fast ebenso breite Bandstrippe; die dabei entstehende Schleife der Strippe durchschnitt ich in der Mitte und an den vier so gebildeten Ecken und zwischen diesen liess ich kleine Ringe aufnähen. Dem Abstand der 3 Ringe derselben Seite muss der Abstand der 3 Haken an den Seitenschienen des Apparates entsprechen. Beim Anlegen des letzteren kann man auf diese Weise, nachdem die Ringe beiderseitig eingehakt sind, mit einem einzigen horizontalen Zuge bei unverrücktem Vorderarm die Emmert'sche Schnalle anziehen, die Strippe in die Stacheln derselben einspiessen und so den Apparat am Vorderarm ohne Einzuschneiden fixiren.

Jetzt entfernt man den Hebelträger durch Rückwärtsschieben und legt unter gleichzeitigem Abdrücken der Zahnstange vom Rädchen Gewicht auf die dazu bestimmte Schale. Man kann bei Gesunden zunächst 180 bis 250 Gramm auflegen und nach Einstellung des Zeichenhebels auf mittlere Höhe probiren, ob unter dieser Belastung gute Ausschläge erfolgen. Es gehört nur kurze Uebung dazu, um das Zuviel oder Zuwenig bald zu erkennen.

Es empfiehlt sich schon vor diesen Versuchen, die das Zeichentäfelchen tragende Platte auf das Uhrwerk zu stellen. Zum Zeichnen benutze ich das weisse Glanzpapier durch Anrussen über der Petroleumflamme ohne Cylinder nicht geschwärzt, sondern leicht grau beschlagen.

Zweckmässiger als das Ankleben des Papieres mit Gummi auf die unterliegende Platte ist das Befestigen desselben durch zwei grosse serres fines an jedem Ende. Etwaige dabei bestehenbleibende kleine Unebenheiten des Papierstreifens, die beim Marey'schen Sphygmographen äusserst störend sind, und Unterbrechungen der Zeichnungen selbst bei den Geübtesten veranlassen, sind hier ganz ohne Belang, da der Zeichenstift sich durch seine Schwere durchaus immer an die berusste Fläche genau an-

schmiegt. — Zur Fixirung der Curven, die übrigens der Apparat von rechts nach links auf das Täfelchen schreibt, hat mir die von Landois empfohlene Lösung von Canadabalsam in Benzin (1 : 3), in welche man die Täfelchen eintaucht, die besten Dienste geleistet.

Der Apparat kann stundenlang am Arm liegen, ohne Einfluss auf die späteren Pulscurven, wie dies bei dem Marey'schen der Fall ist, da man in den Pausen, wo man nicht schreiben lässt, durch Wegnahme der Gewichte resp. Unterschieben des Hebelträgers jeden unnöthigen Druck auf das Gefäss vermeiden kann.

Unter allen Umständen ist es gut von jedem Untersuchten zunächst 2—3 Curven mit verschiedener Belastung zu zeichnen; nur so ist die bestmögliche Darstellung des Pulses und die Grundlage für Vergleichsuntersuchungen zu gewinnen. Es hindert nichts den Apparat durch Anschrauben an ein Stativ auch bei den anderen der Untersuchung zugänglichen Arterien und bei den Venen zu verwenden, man braucht dazu die Seitenschienen nicht einmal abzuschrauben, sondern nur stark aufzubiegen.

Wenn Landois von seinem Apparat sagt, dass er weniger bequem zu handhaben sei wie der Marey'sche, so muss ich von dem meinigen durchaus das Gegentheil behaupten; die Fixirung ist ausserordentlich leicht und sicher und die Mühe der Einstellung des Zeichenstiftes, die bei Marey's Apparat doch unbedingt vorhanden, wenn sie auch durch Uebung sehr vermindert sein kann, fehlt hier vollständig.

Ich werde aber auch im Folgenden beweisen, dass, abgesehen von diesen Vortheilen, zu denen natürlich die noch zu zählen sind, welche in der Sicherheit der Belastung ihren Grund haben, mein Apparat noch wesentlich bessere Resultate giebt, als der Marey'sche, ja ich bin durch ihn in die Lage gekommen, bisher nicht Gesehenes graphisch darstellen zu können und damit neue Characteristika der Pulscurvenbilder zu liefern.

Gegenüber dem immer noch, und auch von physiologischer Seite, hervortretenden Einwande, dass durch das Princip der Belastung bei einem Sphygmographen den Pulscurven durch Nachschwingungen, Eigenschwingungen etc. des Apparats ihre

Autogenität verloren gehe, muss ich, um nicht oft Gesagtes lediglich zu wiederholen, auf die erschöpfende Zusammenstellung von Beweisen, dass dieser Einwand unbegründet sei, in Landois Werk ausserdem aber auch auf meine nachstehenden Curven verweisen, die in den bisher gekannten Hauptpunkten den mit dem Marey'schen Apparat gewonnenen, welche doch diesem Vorwurfe nicht mehr oder wenigstens nicht in dem Maasse begegnen, analog sind, und überdies den physikalischen Verhältnissen in sehr einfacher, natürlicher Weise Ausdruck geben.

Die in erster Reihe im Folgenden wiedergegebenen, mit meinem Apparat gewonnenen Pulscurven sollen die Genauigkeit beweisen, mit welcher derselbe die bereits gekannten Eigenthümlichkeiten der normalen Pulswellen und einige willkürlich hervorgerufene aber immer noch physiologische feinere Vorgänge am Herzen und Arterienrohr graphisch zur Anschauung zu bringen im Stande ist.

Zunächst bin auch ich als Verfechter des Princips der Belastung genöthigt zu illustriren, in welch wichtiger Weise die verschiedene Belastung des Arterienrohres die Gestalt der Pulscurve zu ändern vermag.

Fig. 1.*)



Fig. 2.



*) Die Pulscurvenbilder sind in dem xylographischen Institut von Kliesch & Rochlitzer in Leipzig, soweit es möglich ist, mit grosser Treue meinen Originalen nachgebildet.

Fig. 3.

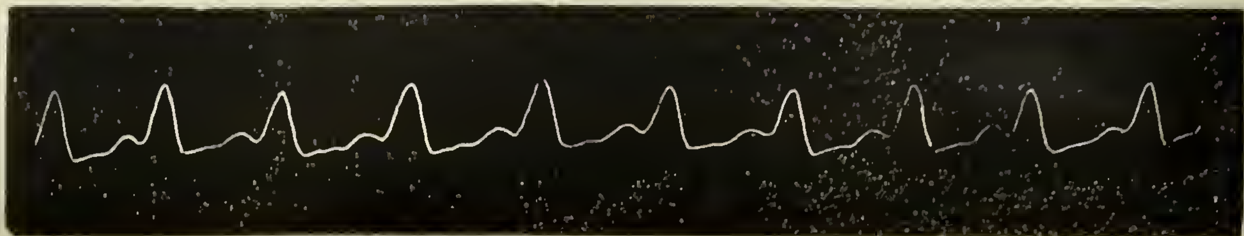
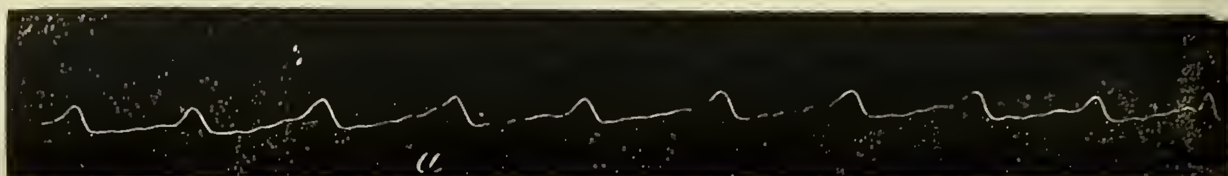


Fig. 4.



Die vorstehenden Fig. 1—4 zeigen die Pulscurven einer 26jährigen gesunden Frau bei einer Belastung der Arterie mit 180 (Fig. 1), 230, 290 und 360 (Fig. 4) Gramm. — Fig 3 veranschaulicht in diesem Fall den zweckmässigsten Grad der Belastung. — Fig. 1 unten zeigt Respirationseinflüsse.

Die Curven bestätigen ihrerseits die von Landois (S. 289 seines Buches) bereits aufgestellten Sätze vollkommen.

„1) Bei schwacher Belastung ist die Rückstosselevation wenig scharf am absteigenden Curvenschenkel abgesetzt. (Vergl. meine Fig. 1 a—b).

2) Bei mittlerer Belastung (ungefähr 100 Gramm) ist die Rückstosselevation am deutlichsten ausgeprägt.

3) Bei stärkerer Belastung nimmt die Grösse der Rückstosselevation wieder ab.

4) Die vor der Rückstosselevation liegende kleine Elasticitätsschwenkung tritt erst bei stärkerer Belastung (250—300 Gramm) auf. (Vergl. bei meiner Fig. 4a.)

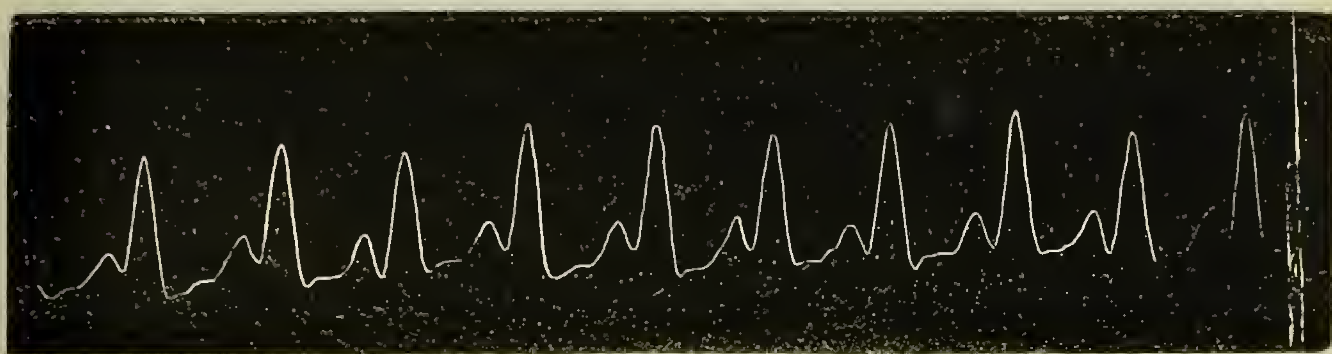
5) Die Pulscelerität ändert sich mit zunehmender Belastung, nämlich die Zeit für die Bildung des aufsteigenden Curvenschenkels (Expansion der Arterie) wird mit zunehmender Belastung kürzer, die für den absteigenden Schenkel hingegen (Contraction der Arterie) länger.

6) Die Höhe der Gesammtcurven nimmt mit der zunehmenden Belastung ab.“

Dass die Belastungsangaben Landois mit den meinigen nicht genauer übereinstimmen, liegt lediglich daran, dass in dieser Beziehung eine vollkommene individuelle Verschiedenheit der einzelnen Menschen existirt und ausserdem Alter und Geschlecht eine Rolle spielen. Die zweckmässigste Durchschnittsbelastung kann deshalb auch nur in einer relativ grossen Breite (180—280 Gramm) angegeben und muss bei jedem sphygmographisch Untersuchten speciell ermittelt werden, was keine Schwierigkeiten darbietet.

So prägte Fig. 5 bei einer Belastung von

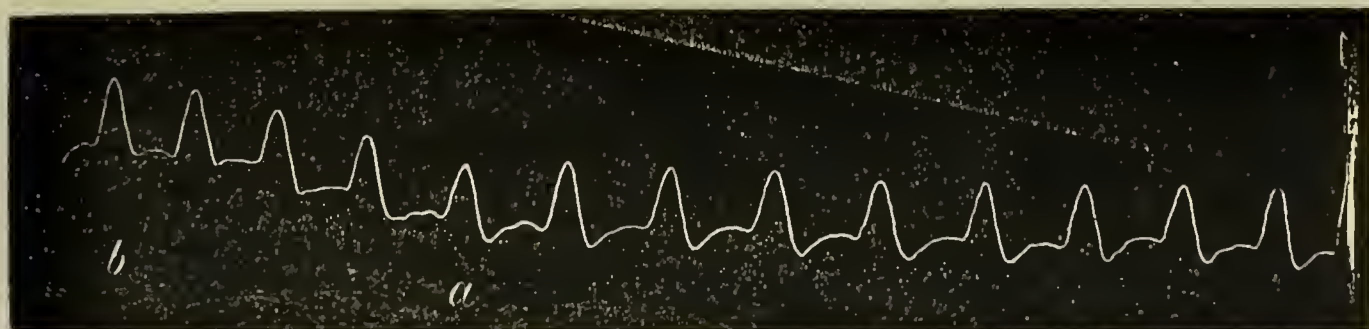
Fig. 5.



260 Gramm am besten die Einzelnheiten der Pulswelle bei einem kräftigen jungen Manne aus und zeigte dabei doch eine wesentlich höhere primaere Elevation als in Fig 2, wo nur eine Belastung von 230 Gramm verwendet wurde.

Das Gleiche gilt von Fig. 6, welche die Curve eines 46jährigen gesunden Mannes

Fig. 6.



bei 220 Gramm Belastung dargestellt; die Gesammtcurve ist niedriger, als in Fig. 5, wo eine Belastung von 260 Gramm verwendet wurde.

Es erhellt besonders mit Rücksicht auf Fig. 1—4, wie wichtig es ist bei vergleichenden Untersuchungen desselben Individuums zu verschiedenen Zeiten jedesmal dieselbe Belastung zu wählen. Ohne die Kenntniss und Notirung derselben würde der etwa heute gemachte Befund von Fig. 2 und der etwa 8 Tage später registrirte von Fig. 3 die irrthümliche Auffassung erwecken, dass auf Grund der verändert gefundenen — höher gerückten und flachergewordenen — Rückstosselevationen in diesem Falle eine Steigerung in der Füllung und Spannung des Arterienrohres eingetreten sei.

Einen besonders prägnanten Beweis für die Nützlichkeit meines Sphygmographen bieten die Resultate, welche ich mit demselben bei Beobachtung des Einflusses der Respirationsphasen auf die Pulscurven gefunden habe.

Noch niemals bisher ist es möglich gewesen, an der menschlichen Radialarterie die details dieses Einflusses, besonders was die Schwankungen des Blutdrucks anlangt, so ausgiebig in Erscheinung zu bringen.

Fig. 7.

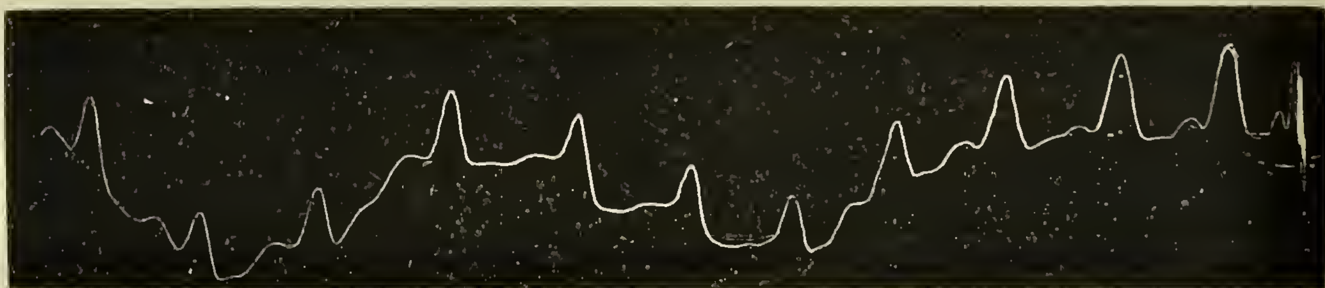


Fig. 8.

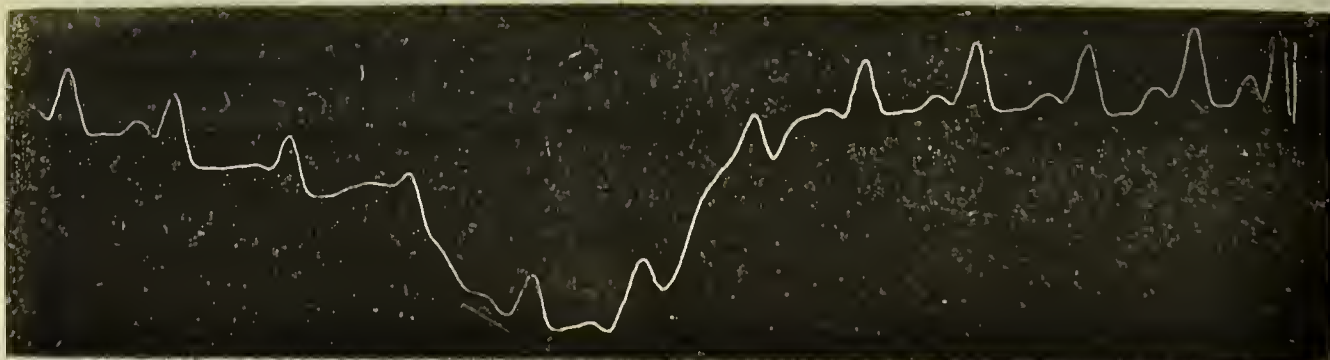


Fig. 9.

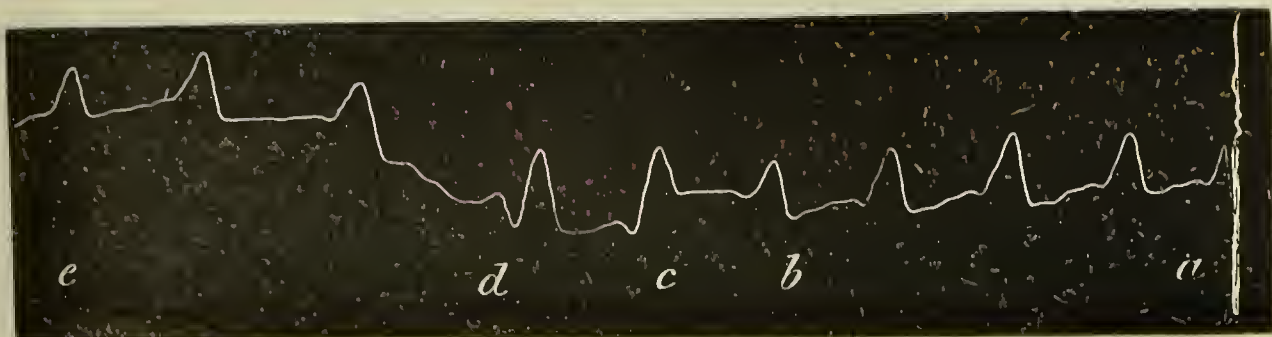
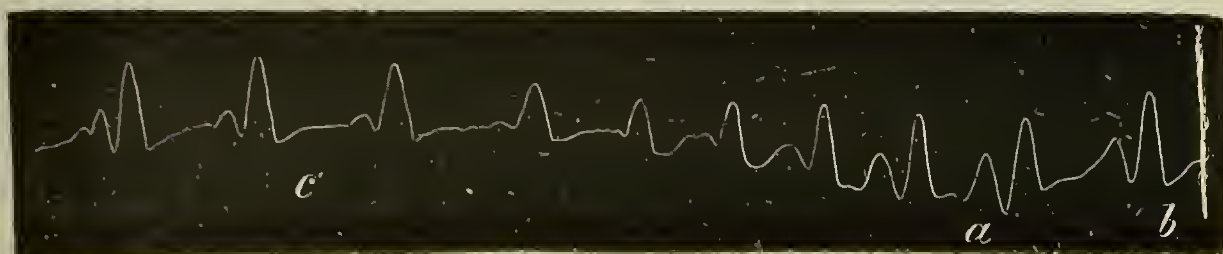


Fig. 10.



Auf Fig. 7 sind 2 vollständige In- und Exspirationsphasen, auf Fig. 8 eine tiefe Inspiration mit besonders hochgradigem Ausdruck der Blutdrucksverminderung dargestellt. Beide Curven sind von einer gesunden jungen Frau entnommen. Ich muss hierbei die oft gemachte Beobachtung vermerken, dass der mittelst der elastischen Elemente der Lunge auf das Herz ausgeübte negative Druck schon nach wenigen tiefen Inspirationen sich erheblich vermindert, denn das Sinken der Curve, bei der ersten tiefen Inspiration am erheblichsten, nimmt progressiv bei jeder folgenden ab. — In Fig. 10 stellt a—b das Ende einer Inspiration, a—c eine langgedehnte Exspiration eines gesunden jungen Mannes dar. —

Ich brauche, um meine obige Behauptung zu begründen, nur diese Figuren und die folgenden fundamentalen Sätze nebeneinanderzustellen, welche zur Darlegung des Einflusses der Respiration auf den Puls z. Th. auf anderen Wegen und mit anderen Methoden von Ludwig, Landois u. A. gewonnen worden sind.

1) Mit der Inspiration sinkt der Blutdruck im arteriellen System, mit der Exspiration steigt derselbe. (Vergl. Fig. 1, 7, 8.)

2) Der aufsteigende Curvenschenkel bei solchen Curven, deren Aufzeichnung ganz in die Exspiration fällt, ist länger als in den während der Inspiration registrirten. (Fig. 1, 7).
3) Der absteigende Curvenschenkel ist an solchen Curven, welche während der Exspiration gezeichnet sind, kürzer als in den Inspirations-Curven. Derselbe ist ferner weniger stark geneigt. (Fig. 1, 7.)
4) Bei der Exspiration werden die Elasticitätselevationen deutlicher und rücken höher gegen den Curvengipfel hinauf. (Fig. 10.)
5) Die Rückstosselevation ist während der Inspiration grösser ausgebildet als bei der Exspiration. (Fig. 1, 9, 10).

Einmal habe ich auch Gelegenheit gehabt den von Marey und Dupuy beschriebenen Fall zu beobachten, dass nämlich bei der Inspiration die Curve steigt. In Fig. 6 ist a—b durch eine starke Inspiration zu Stande gekommen. Die Erklärung für solche Fälle war offenbar auch hier zutreffend. Es handelte sich um einen sehr corpulenten Mann, der noch dazu etwas vornübergebeugt sass. Hier konnte das herabsteigende Zwerchfell sehr wohl eine erhebliche Drucksteigerung im Abdomen und somit auf die grossen intraabdominellen Gefässe zu Stande bringen und die inspiratorische Druckermässigung übercompensiren.

Vergleiche ich die Radialis-Curven, die O. J. B. Wolff*) in seinem Werke über den Arterienpuls aus circa 40,000 von ihm mit dem Marey'schen Apparate angefertigten ausgewählt hat (pag. 28, 29, 106) um den Einfluss der Respiration zu beweisen, mit den meinigen, so enthalten jene von Allem dem, was ich auf das Deutlichste zeigen kann, nur Andeutungen. Auch Landois graphische Darstellungen dieser Verhältnisse werden durch die obigen bei Weitem übertroffen. Nur pag. 193 seines Buchs zeigt eine hierhergehörige Radialis-Curve vom

*) O. J. B. Wolff, Charakteristik des Arterienpulses. Leipzig 1865.

Menschen, diese aber auch mit sehr schwachen In- und Exspirations-Effecten.

Die Ausgiebigkeit meiner Resultate hat nun nichts Ueberraschendes, wenn man sich vergegenwärtigt, dass die bisher mit dem Marey'schen Sphygmographen benützte Feder dies eben nicht in solchem Maasse zu leisten im Stande ist. Mittelst der durch die Stellschraube zu gewinnenden Spannung wird die Feder auf ein mittleres Niveau des Umfanges der arter. radialis eingestellt. Mit jedem Minimum, um welches der Blutdruck und der Umfang der Arterie sich vermindert, muss sich zunächst der Spannungsgrad der Feder ändern, er wird geringer werden. Hiermit ist nun erstens ein die Gestalt der Pulscurven ändernder Factor gegeben und zweitens wird damit die Fähigkeit der Feder, sich ganz an das Arterienrohr anzuschmiegen resp. ihm auf seinem retrograden Wege zu folgen vermindert.

Dasselbe gilt von Steigerungen des Blutdruckes. Das umfänglicher werdende Arterienrohr verursacht gegenüber der mittleren Einstellung der Feder jetzt eine stärkere Spannung derselben und benachtheiligt so um ein gewisses Maass wenigstens das prompte Steigen des Zeichenhebels.

Es ist hierbei sicher nicht gleichgültig, dass die zwischen Pelotte und Arterienwand liegenden Gewebstheile bei meinem Sphygmographen zu jeder Zeit in gleicher Stärke comprimirt werden, während beim Marey'schen Apparat beim Enger- oder Weiterwerden des Arterienrohres der Grad der Compression seitens der auf ein bestimmtes mittleres Niveau eingestellten Feder ein wechselnder sein muss.

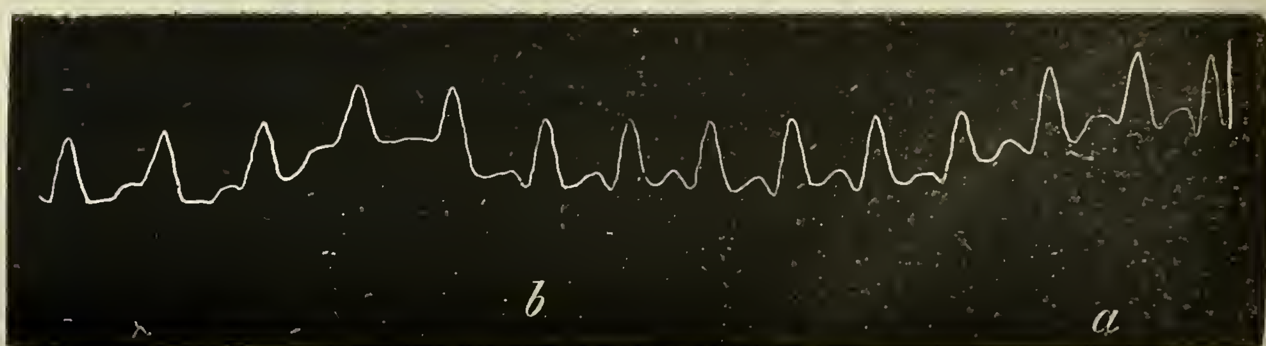
Von der Einschaltung solcher Inconstanten ist bei meinem Sphygmographen nicht die Rede. Die Pelotte folgt unter absolut gleichem Druck auf Schritt und Tritt den Veränderungen des Gefässumfanges und dies ist sicher der Grund, warum es mir gelungen, die in Rede stehenden Vorgänge so sehr viel besser als bisher an der menschlichen Radialarterie zur Erscheinung zu bringen.

Ich verweise hierbei noch einmal besonders auf Fig. 9. Von a—b liess ich den Apparat normale Pulse bei oberfläch-

licher Athmung zeichnen; jetzt commandirte ich tiefes Inspirium. Der junge Mann machte zu diesem Zweck noch einen ganz kurzen exspiratorischen Vorschlag, um tiefer inspiriren zu können. Selbst diese in höchster Geschwindigkeit auf einander folgenden Momente finden sich in exacter Nüancirung in der Curve wiedergegeben; b—c veranschaulicht dieses kurze exspiratorische Ausholen und erst dann folgt von c—d die Inspiration, von d—e die Expiration.

Ohne in physiologische Details eingehen zu wollen kann ich mit Rücksicht auf die Curven Fig. 9 u. 10 von Gesunden und Fig. 11, welche von einer Kranken mit Insuff. valv. mitr. herrührt und bei welcher a—b eine tiefe Inspiration, b—c die

Fig. 11.



Exspirationsphase darstellt, nicht unterlassen darauf hinzuweisen, dass bei diesen Curven eine ausgesprochene Beschleunigung des Pulses während der Inspiration, eine deutliche Verlangsamung während der Expiration zu bemerken ist. Es widerspricht dies den Ausmessungen von Vierordt und Landois und befindet sich eher in Uebereinstimmung mit den von Einbrodt an Hunden gemachten Beobachtungen. Waren, so sagt letzterer, die Athembewegungen langsam, namentlich die Expiration, und zugleich tief, waren daneben die Herzschläge so frequent, dass allemal mehrere auf eine Respiration kamen, so nahm constant die Zahl der Pulse während der Inspiration zu, unter gleichzeitiger Blutdrucksteigerung. In der Expiration nahm die Pulsfrequenz wieder ab unter Abnahme des Blutdruckes. Die Veränderungen des Blutdruckes erfolgten nicht ganz gleichzeitig mit den Pulsschwankungen, sondern sie folgten etwas später nach.

Ausser diesen physiologischen Blutdrucksschwankungen machte ich auch noch einige willkürlich hervorgerufene zum Gegenstande graphischer Darstellung, um mein Instrument zu prüfen.

Fig. 12.

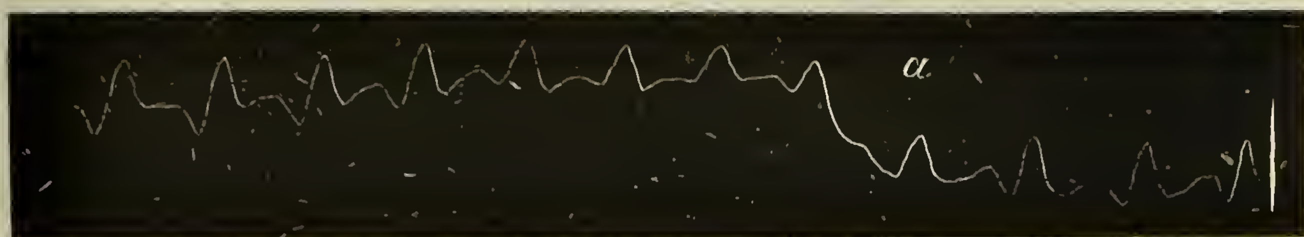


Fig. 12 zeigt die Puls-Curve eines gesunden Studenten, bei 260 Gramm Belastung. Dieselbe wurde während der Ausführung des Valsalva'schen Experimentes gezeichnet. Nachdem ich 3—4 normale Pulsschläge registrirt sah, liess ich nach vorheriger Verabredung bei geschlossenem Mund und Nase kräftig exspiriren; die Inspiration war vorher langsam vollzogen worden. Alle Zeichen des sofort sich steigernden Blutdruckes im arteriellen System sind gut ausgeprägt.

Das gleiche Experiment bei einem anderen Studenten ist durch Fig. 13 und in Fig. 14 a—c veranschaulicht.

Fig. 13.

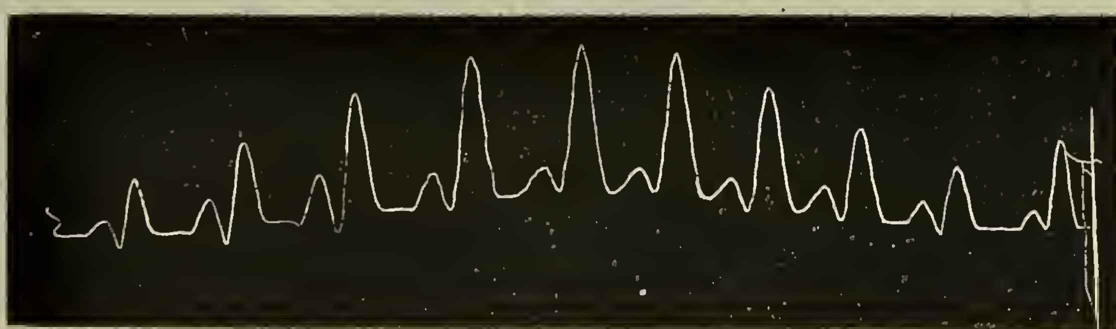


Fig. 14.



Hier wird durch die Pulszeichnung aber noch ein weiteres Moment in sehr charakteristischer Weise dargestellt. Bei dem Valsalva'schen Versuche wird einestheils der negative Druck der Lunge auf das Herz durch Compression der in den Bronchial-Verzweigungen und den Lungen eingeschlossenen Luft vermindert. Daraus resultirt stärkere Action der Ventrikel, Steigerung des Blutdrucks im arteriellen System u. s. w. Zweitens wird aber durch dieses Experiment auch der Abfluss des venösen Blutes aus den Körpervenen in den thorax erheblich vermindert; daraus ergiebt sich mit Nothwendigkeit, dass nach wenigen Herzcontractionen die Blutmenge, welche das Herz empfängt und in die Arterien weiter senden kann, erheblich verringert sein muss. Ein solches Leererwerden der Arterien noch dazu bei gleichzeitig energischer Herzaction muss sich nach den neuesten Anschauungen über diesen Gegenstand durch excessiv grosse Rückstosselevation, d. h. durch das Erscheinen eines pulsus dicrotus kundgeben.

Nun, schon in Fig. 13, besonders aber in Fig. 14 b—c ist dieser Vorgang deutlich ausgeprägt. Die 5. bis 9. Pulswellen zeigen so erhebliche Rückstosselevationen, dass die Rückstosswelle der primaeren Erhebung stellenweise beinahe gleichkommt.

Da nun die Entstehung einer so grossen Rückstosserhebung nur möglich ist bei vollkommen normaler Elasticität des Gefässrohres, so wird man unter Umständen diese Elasticität auf ihre Integrität prüfen können, dadurch dass man unter Vornahme des Valsalva'schen Versuches eine Pulscurve zeichnen lässt.

Zu Fig. 14 ist noch zu erwähnen, dass ich bei c unmittelbar an die forcirte Exspiration bei geschlossenem Mund und Nase den Müller'schen Versuch (Inspiration unter gleichen Verhältnissen) anschloss, wodurch zufolge der in den Lungen stattfindenden Luftverdünnung und Steigerung des negativen Druckes aufs Herz ein sofortiges Sinken des Blutdrucks eintrat; d—e lässt die Rückkehr zur Norm unter Wiederansteigen des Blutdruckes erkennen, während natürlicher Ausathmung.

Die zufriedenstellenden eben geschilderten Beobachtungen legten es mir nahe, den streitigen Punkt mit Hilfe meines

Sphygmographen zu beleuchten, ob die Inspiration comprimirter Luft den Blutdruck steigert oder nicht.

Waldenburg hat theoretisch und praktisch den Satz zu stützen gewusst, dass durch die Inspiration comprimirter Luft die Arbeit des Herzens erleichtert und dadurch die Herzkraft für die Systole und der Druck im arteriellen System gesteigert wird.

Demgegenüber haben Drosdoff und Botschetschkaroff [1]) in Petersburg durch kymographische Untersuchungen an Hunden diametral Entgegengesetztes gefunden. Ich will mich darauf beschränken, das Hauptsächlichste ihrer Ergebnisse hier anzuführen. Ihre 2. These lautet: Der Blutdruck fällt gleich, sobald das Thier die comprimirte Luft zu athmen anfängt und bleibt vermindert, so lange die Einathmung comprimirter Luft dauert. Die 6. These: Die Arbeit des Herzens bei der Einathmung comprimirter Luft ist vermindert, wie man aus der Verminderung der Höhe der systolischen Steigung entnehmen kann.

Der ersten Mittheilung der genannten Forscher hat Waldenburg [2]) entnommen, dass sie die Inspirationen bei $^1/_{22}$ Atmosphären-Ueberdruck vorgenommen hätten. Darauf basirt er seine Entgegnung, indem er ausführt, dass der Grad der Luftcompression, welchen die Autoren bei den Thieren in Anwendung brachten, schon für den Menschen ein ausserordentlich hoher sei und unverhältnissmässig energischer auf den Circulationsapparat der kleineren Thiere wirken müsse. Danach meint er, dass dieser hohe Druck nicht nur die dünnwandigen Venen gänzlich comprimirt und den Zufluss neuen Blutes zum Herzen hindert, sondern, dass er auch die intrathoracischen Arterienstämme so zusammenpresse, dass stellenweise ihr lumen nahezu oder gänzlich verschlossen werde. Trete dieser Zustand ein, so könne sich die Druckwirkung des Herzens, zumal wenn dasselbe nur wenig Blut zum Hinauspumpen besitze, in den peripheren

---

[1]) Centralbl. für med. Wissensch. 1875. Nr. 5 u. 46.

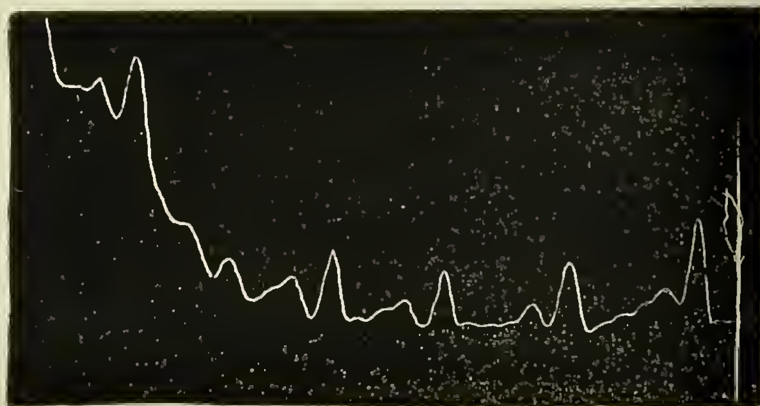
[2]) Die pneumatische Behandlung der Respirations- und Circulat.-Krankh. Berlin 1875. p. 297.

Gefässen nicht mehr äussern und der Druck im arteriellen System müsse sofort stark sinken.

Man würde diesen Ausführungen nicht entgegentreten können, wenn Drosdoff und Botschetschkaroff nicht in ihrer späteren [1]) Mittheilung angegeben, dass sie $^1/_{240}$ bis $^1/_{20}$ Atmosphären-Ueberdruck benutzt hätten, und dass sie ihre Thesen durchaus für alle und besonders für die mittleren Druckhöhen ($^1/_{60}$) aufrecht hielten.

Es fehlt also zur Zeit noch an einer genügenden Aufklärung dieser Widersprüche. Ich bin aber in der Lage, auf das Bestimmteste aussprechen zu können, dass das, was die Petersburger Forscher an Thieren constatirt haben, entschieden nicht auf den Menschen übertragen werden darf.

Fig. 15.



Vorstehende Curve giebt zum ersten Male ein genaues Bild der Vorgänge, wie sie sich beim Menschen bei Inspiration comprimirter Luft abspielen. Die erste Pulserhebung entspricht einer besonders schönen normalen Pulswelle. Unmittelbar darauf beginnt die nicht langsam und passiv, sondern activ von dem Untersuchten ausgeführte Inspiration comprimirter Luft. ($^1/_{50}$ mit Hilfe des Waldenburg'schen Apparates).

Genau entsprechend den theoretischen Vorstellungen, wie sie Waldenburg p. 230 ausspricht, die ihm aber sphygmographisch auszudrücken nicht gelungen ist, markirt sich an den nächsten 3 Pulswellen zuerst die Einwirkung der gewöhnlichen

[1]) Centralbl. Octob. 1875.

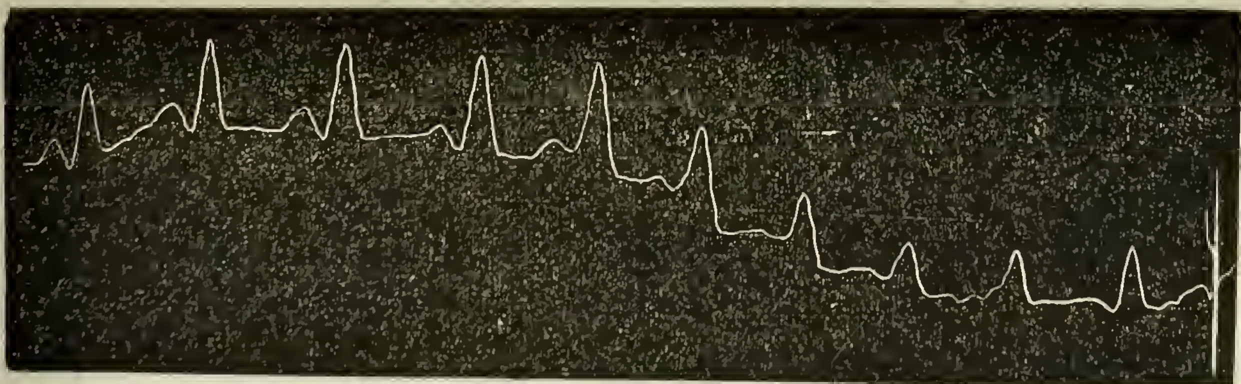
kräftigen Inspiration, mit welcher eine Luftverdünnung in den Lungen verbunden ist, d. h. der Blutdruck sinkt; die Rückstosselevationen werden dadurch tiefer, die Elasticitätsschwankungen seltener.

Es entspricht diese Thatsache durchaus dem was von Cube [1]) auf anderem Wege festgestellt hat. Derselbe schaltete zwischen dem pneumatischem Apparat und der Mundhöhle des Inspirirenden ein Manometer ein. Er konnte an diesem zeigen, dass der vor der Inspiration mit der Luftcompression des Apparates übereinstimmende Quecksilberdruck des Manometers mit der beginnenden Inspiration zuerst erheblich und zwar selbst bis auf den gewöhnlichen Atmosphärendruck plötzlich sank, sodann stieg und am Ende der Inspiration der in Anwendung gekommenen Luftcompression gleich kam. Dem Stadium des Manometersinkens durch Luftverdünnung im Bronchialbaum beim Cube'schen Experiment enspricht genau das Sinken des Blutdrucks in Fig. 15.

Nach der vierten Pulswelle (Fig. 15), also nach dem eben beschriebenen Sinken des Blutdrucks, tritt dann in bedeutendem Grade die Steigerung desselben ein und zwar unter dem Einfluss der inzwischen nachgeströmten und jetzt zur Geltung kommenden comprimirten Luft mit ihrer nothwendigen Verminderung des negativen Druckes der Lungen auf das Herz. Der Athmende war, wie auch bei den folgenden zwei Curventafeln, ein gesunder junger Mann. — Belastung der arterie in Fig. 15: 290 Gramm.

Lässt man dagegen, wie in Fig. 16 den Inspirations-Act

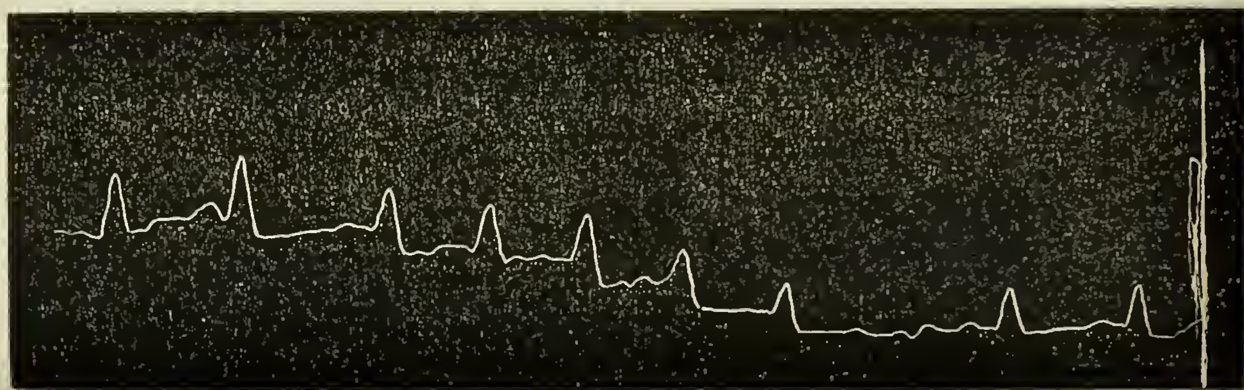
Fig. 16.



[1]) Wien, medic. Wochenschr. 1874. Nr. 28, 29.

vorsichtiger, mehr passiv seitens des Untersuchten vornehmen, so dass seinerseits keine energische Inspirationsthätigkeit entfaltet wird, so kann man das Stadium des sinkenden Blutdrucks nahezu vollständig ausschliessen und sphygmographisch unmittelbar im Anschluss an mittlere normale Pulswellen die durch Blutdruckssteigerung veränderten anschliessen. Dass hierbei die Arbeit des Herzens nicht eine verringerte, sondern im Gegentheil eine gesteigerte ist, ersieht man deutlich aus der beträchtlichen Höhe der systolischen Elevationen. — Bei Fig. 16: Druck $^1/_{50}$ Atm. — 320 Gramm Arterienbelastung.

Fig. 17.



In Fig. 17 ist gewissermassen ein Mittel aus beiden vorhergehenden Versuchen gegeben. Die ersten beiden Pulsschläge entsprechen dem Normalen. Danach erkennt man für einen Pulsschlag das Sinken durch den Effect der gewöhnlichen etwas intenseren Inspiration; sofort aber steigt der Blutdruck in bekannter Weise unter Verflachung der Rückstosselevationen und Vermehrung der Elasticitätsschwankungen. — Belastung der Arterien 340 Gramm. $^1/_{50}$ Atm. Druck.

Aus Fig. 16 und 17, wie aus vielen anderen ähnlichen Curven, die ich besitze, ist ersichtlich, dass auch die von Waldenburg als ziemlich sicher behauptete, von Drosdoff ebenfalls bestrittene Thatsache richtig ist, dass nämlich die Inhalation comprimirter Luft die Zahl der Pulsschläge vermindert. Die Pulscurvengipfel rücken auf der Höhe der Inspiration auseinander.

Dass ich auch in Bezug auf die Ausathmungen in verdünnte Luft generell durchaus mit Waldenburg's Anschauungen Uebereinstimmendes gefunden habe und den Petersburger Forschern, was die Verhältnisse beim Menschen anlangt, entgegen-

treten muss, erhellt aus der weiter unten gegebenen Fig. 23, 24, 25. Das Hauptsächliche bei diesen Curventafeln liegt auf einem anderen Gebiete, wesshalb ich ihnen einen anderen Platz anweisen musste. Bei der Exspiration in verdünnte Luft verhält es sich folgendermassen.

Anfänglich handelt es sich um eine einfach forcirte Exspiration; es kommt desshalb auch zunächst auf den Curven, während deren Zeichnung der Beginn der Exspiration bei a stattfand, der Effect einer physiologischen Exspiration zur Geltung, d. h. Steigerung des Blutdrucks. Diese Steigerung muss relativ viel erheblicher ausfallen, als bei Inhalation comprimirter Luft das anfängliche Sinken, da in letzterem Falle der schon vorhandene, nicht unerhebliche negative Druck der Lungen auf das Herz nur um ein Etwas gesteigert, dort aber der negative Druck ausserordentlich vermindert wird.

Die Luftverdünnung macht sich also auch hier in ihrer Wirkung aufs Herz nicht blitzschnell geltend, wenn der Untersuchte activ in den Apparat exspirirt, sondern das Uebergangsstadium hoher Blutdrucksteigerung (Fig. 23, 24, 25, a—b) geht dem energischen Sinken, wie es von b—c versinnlicht ist, ebenso voran, wie bei Einathmung comprimirter Luft die Senkung der Steigerung. — Bei mehr passivem Verhalten des Ausathmenden kann man auch hier, wie ich dies an Curven gesehen habe, dies Uebergangsstadium fast eliminiren. Die Luftverdünnung im Apparat bei den Versuchen zu Fig. 23, 24, 25 betrug $^1/_{50}$ Atmosphäre. Curven von demselben, von dem Fig. 15—17 sind.

Es scheint mir nicht unmöglich, dass unter Berücksichtigung dieser Verhältnisse die Widersprüche zwischen Waldenburg und mir einerseits und Drosdoff und Botschetschkaroff andrerseits eine Lösung finden können, da die kymographischen Aufzeichnungen der Petersburger Forscher unzweifelhaft die eben besprochenen, zum Theil sehr erheblichen und den Hauptwirkungen entgegengesetzten Blutdruckschwankungen mit enthalten; doch möchte ich dies hiermit nur angeregt haben, ohne irgendwie mir ein bestimmtes Urtheil schon jetzt zu erlauben.

Ich wende mich nun zu den wesentlichsten mit meinem Sphygmographen gewonnenen und bisher noch nicht gekannten Beobachtungen.

Es ist ein unbestrittener physikalischer Satz, dass an elastischen Röhren die Excursionen in den Zustand der Dehnung und zurück in den der Verengerung sich nicht in einfachem ununterbrochenem Zuge, sondern unter Oscillationen vollziehen.

Es ist daher ein unabweisbares Postulat, dass man in dem elastischen Arterienrohr diese Oscillationen in beiden Phasen, der der Ausdehnung und der der Zusammenziehung nachweist; dasselbe ist jedoch bis jetzt bei der ersteren gar nicht, bei der zweiten nur zum Theil erfüllt worden.

Was zunächst den aufsteigenden Curvenschenkel anlangt, so ist von denen, die mit dem Marey'schen Apparate arbeiteten — und ich halte mich hier an die Hauprepräsentanten, an Marey selbst und Wolff — an diesem nichts von der einfachen Linie Abweichendes beobachtet worden.

Etwas näher ist der Sache Landois gekommen. Unbestritten bleibt sein Verdienst, dass er neben der richtigen Deutung der Rückstosselevation die im absteigenden Curvenschenkel, vom Fusse der Rückstosselevation abwärts, bemerkbaren kleineren Erhebungen für Elasticitätsschwankungen erkannte; in Betreff des aufsteigenden Curvenschenkels hat er aber nur behauptet, dass derselbe stets eine langezogene S-förmige Gestalt habe, welche durch eine einzige Elasticitätsschwankung in diesem Abschnitt bedingt sei. Er glaubt aus dieser Gestalt des aufsteigenden Curvenschenkels zu erkennen, dass die Geschwindigkeit, mit welcher der Schreibhebel gehoben wird, eine ungleichartige sein müsse. „Das Bild der Curve lehrt uns nämlich," sagt er, „dass der Schreibhebel anfangs mit geringer Geschwindigkeit gehoben wird und zwar etwa bis zur Grenze des unteren und zweiten Viertels des aufsteigenden Curvenschenkels. Von dieser Stelle an ist die Geschwindigkeit des Hubes eine vermehrte und zwar umfasst diese Beschleunigung ungefähr die beiden

mittleren Viertel der Höhe des aufsteigenden Curvenschenkels. Von dort bis zum Gipfel der Curve nimmt die Elevations-Geschwindigkeit abermals ab, um im Curven-Gipfel selbst in einem äusserst kurzen Momente = 0 zu werden.

Ich kann diesen Anschauungen nicht beipflichten. Die Dinge verhalten sich vielmehr folgendermassen:

An den meisten Radialis-Pulscurven vom gesunden Menschen finden sich im aufsteigenden Schenkel ein oder zwei mehr oder minder deutliche Wellenberge und Thäler als graphischer Ausdruck der Oscillationen, unter denen sich die elastische Gefässwand ausdehnt. (Fig. 10, 18, 19.)[1])

Fig. 18.

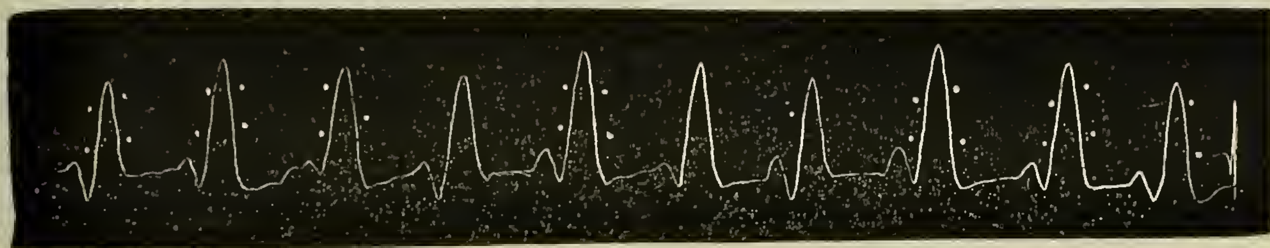


Fig. 19.

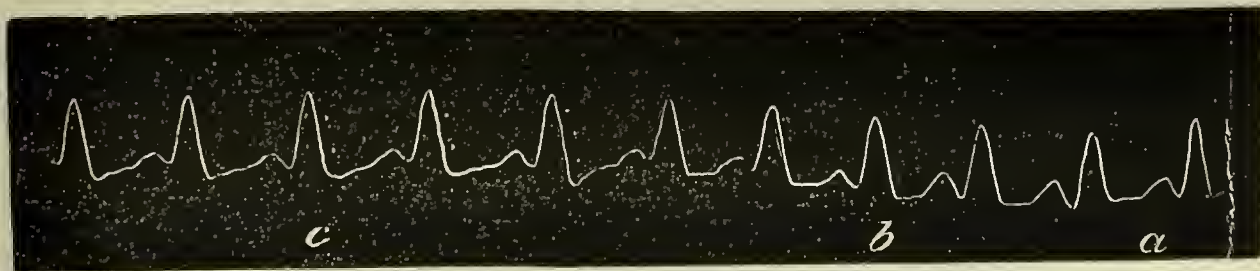


Fig. 20.



Fig. 18 ist die Pulscurve eines gesunden jungen Mannes, die neben den Schenkeln befindlichen weissen Punkte bezeichnen die Wellenberge; ich habe absichtlich zuerst eine Curve mit

[1]) In der Wiedergabe der Oscillationen bleiben die Holzschnitte leider erheblich hinter den Originalen zurück.

schwächster Ausprägung dieser Verhältnisse gewählt. Fig. 19 ist von demselben; a—b entspricht ruhiger Inspiration, b—c ein wenig markirter Exspiration; während dieser erkennt man die Oscillationen im aufsteigenden Schenkel schon deutlicher. Fig. 20 ist von einem anderen gesunden jungen Mann entnommen; hier sind die Oscillationen in beiden vorzugsweise aber am absteigenden Curvenschenkel zu sehen.

Man ist nach solchen Beobachtungen, die ich in grösster Zahl gemacht habe, berechtigt zu schliessen, dass beim gesunden Menschen die Zeit innerhalb welcher die Radialarterie den höchsten Grad der Spannung erfährt grösser ist als die, welche zum Zustandekommen einer oder zwei Schwingungen der elastischen Gefässwand nöthig ist.

Alles, was ich vom aufsteigenden Curvenschenkel gesagt habe, gilt in der Hauptsache für den absteigenden. Vor allen Dingen habe ich mich davon überzeugt, dass die Oscillationswellen des Gefässrohres auch im absteigenden Curvenschenkel normale Erscheinungen sind, welche in den Pulscurven Gesunder nur selten ganz fehlen. (Fig. 6, 7, 8, 12, 18, 20.)

Ausserdem lassen sich die Oscillationen von der Rückstosselevation abwärts sehr oft in grösserer Zahl erkennen, als man sie bisher graphisch nachweisen konnte. (Fig. 24, 25, 32.)

Es ist also ebenfalls nicht richtig, wenn Landois zu Folge seiner Ermittelungen mit dem Angiographen den normalen absteigenden Curvenschenkel auch als constant S-förmig gestreckt bezeichnet. Da die Zeit der Rückkehr aus der Dehnung in die Contraction für gewöhnlich eine längere ist, als die Zeit der Expansion der Arterie, so ist es natürlich, dass im absteigenden Schenkel innerhalb eines gleichen Längenabschnittes beider Schenkel mehr und deutlichere Oscillationen wahrnehmbar werden, als im aufsteigenden. (Fig. 20, 24, 25.)

Theoretisch sind die Momente durchaus bekannt, welche die Oscillationen am elastischen Rohr besonders während der Ausdehnung steigern müssen. Landois hat deshalb auch theo-

retisch Curven construirt, wie sie am gewöhnlichen elastischen und am Arterienrohr sein könnten (p. 148, 149), und zwar in Fig. 38, 3 seines Buches eine Curve mit 2 gleichen Oscillationen im auf- und 2 im absteigenden Schenkel. Er sagt aber im Verlaufe seiner Deduction „Curven von so gleichmässiger Bildung müssen wir wohl als rein ideale bezeichnen", d. h. die Bedingungen der experimentellen Herstellung seien zu schwer zu erfüllen. Von ihrem Vorkommen an der menschlichen Schlagader erwähnt er nichts.

In Fig. 38, 4 bildet er ferner eine imaginäre Curve ab mit 2 Wellenbergen im auf- und 4 im absteigenden Schenkel; auch für diese kann er weder die experimentellen, noch den Beleg vom Menschen beibringen. Und doch lassen sich diese wie jene beim Menschen an der art. radialis finden und zwar, wie ich oben gezeigt, auch bei ganz gesunden Menschen. Deutlicher noch fand ich sie unter pathologischen Verhältnissen. Ich lasse hier z. B. zwei Curven folgen, welche die beiden geschilderten Vorkommnisse besonders gut zur Anschauung bringen.

Fig. 21.

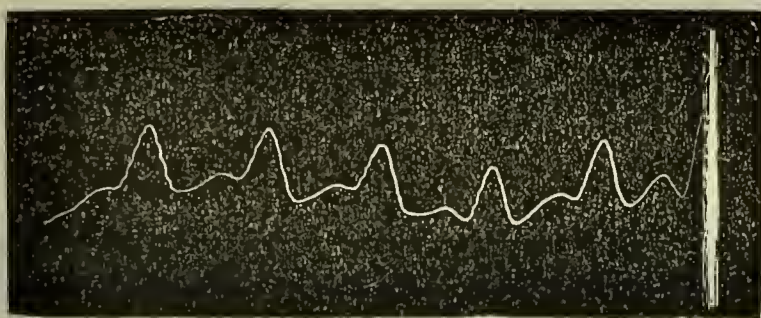


Fig. 22.



Fig. 21 und 22 stammen von einem Kranken mit nicht ganz compensirter Insufficienz der Mitralis. Hierher gehört

auch Fig. 11. — Warum hier grade die Oscillationen so ausgeprägt sind, wird später gezeigt werden.

Die physikalischen Momente, welche die an der art. radialis vorhandenen Oscillationen prägnanter machen müssen, sind nun:

1. Alle Umstände, welche die Zeit bis zur maximalen Ausdehnung des Arterienrohres verlängern oder
2. die Schwingungszahl der gespannten Gefässwand vergrössern.

Ob dies auch thatsächlich so ist, wird sich am leichtesten prüfen lassen durch Herbeiführung von Bedingungen, welche das Letztere bewirken. Die Schwingungszahl der gespannten Gefässwand muss steigen bei Erhöhung des Blutdruckes; unter allen solchen Verhältnissen, die letztere bewirken, müssten demnach die Oscillationen im auf- und absteigenden Curvenschenkel deutlicher und zahlreicher würden.

Wie aus Fig. 7, 9, 10, 19 ersichtlich, genügt schon die durch die Exspirationsphase verursachte Blutdruckssteigerung, um dies zu bewahrheiten. Es ist aber kaum möglich, die in Rede stehenden Dinge besser zu illustriren, als durch die Curven, welche in Fig. 23, 24, 25 wiedergegeben sind.

Auf welchem Wege hier die Steigerung des Blutdrucks in physiologischen Grenzen erreicht wurde, ist schon oben mitgetheilt worden.

Fig. 23.

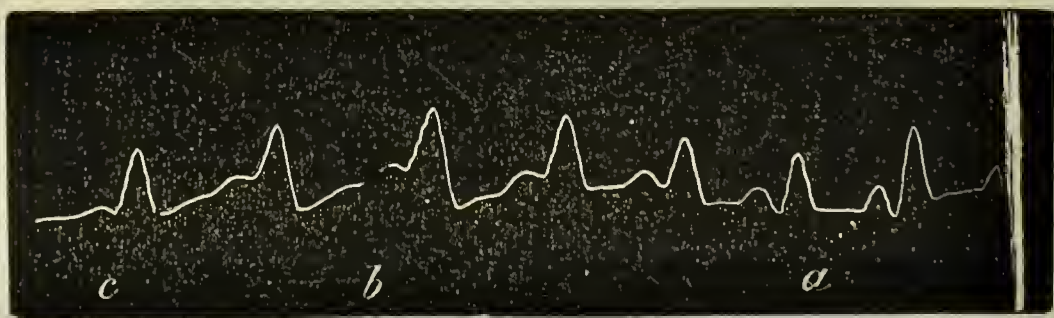


Fig. 24.

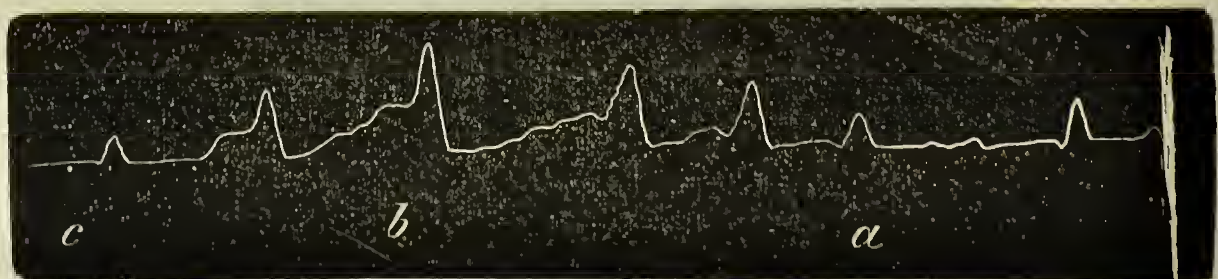
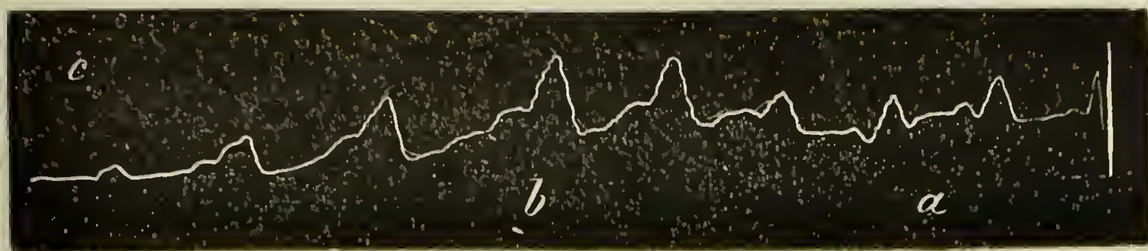


Fig. 25.



Es handelt sich bei ihnen von a—b um forcirte Exspirations-Effecte; hier treten nun die Oscillationen in beiden Schenkeln in bestmöglicher Weise in Erscheinung. In Fig. 25 lassen sich in beiden Schenkeln 27, nämlich 4 im aufsteigenden und im absteigenden bis zur Rückstosselevation auch 4 und dann bis zum Fusspunkte 18—19 Oscillationen (im Original) zählen, ohne dass man die 2 grösseren Erhebungen unterhalb der Rückstosselevation mit einrechnet, welche hier übrigens möglicherweise eine zweite und dritte Rückstosselevation darstellen könnten.

Denkt man sich in den 2 Hauptpulswellen in Fig. 25 alle Wellenbergsgipfel und alle tiefsten Punkte der Wellenthäler im aufsteigenden Schenkel durch je eine Linie verbunden, so erhält man zwei grade; der beste Beweis, dass eine verschiedene Geschwindigkeit auf der Strecke der Ausdehnung nicht im Landois'schen Sinne vorhanden ist, sondern dass nur, wie ich schon oben behauptete, die zufällige Lage der Oscillationsgipfel und Thäler die Gestalt des aufsteigenden Curvenschenkels bedingt, und dass diese bei grosser Schnelligkeit der Ausdehnung und relativ geringer Spannung des Rohres zwar einem langgezogenen S nicht selten ähnele, dies aber nicht als Norm bezeichnet werden kann.

Für den Einfluss höheren Blutdrucks auf das Deutlicherwerden der Oscillationen im aufsteigenden Schenkel sind auch die folgenden Beobachtungen beweisend.

Fig. 26

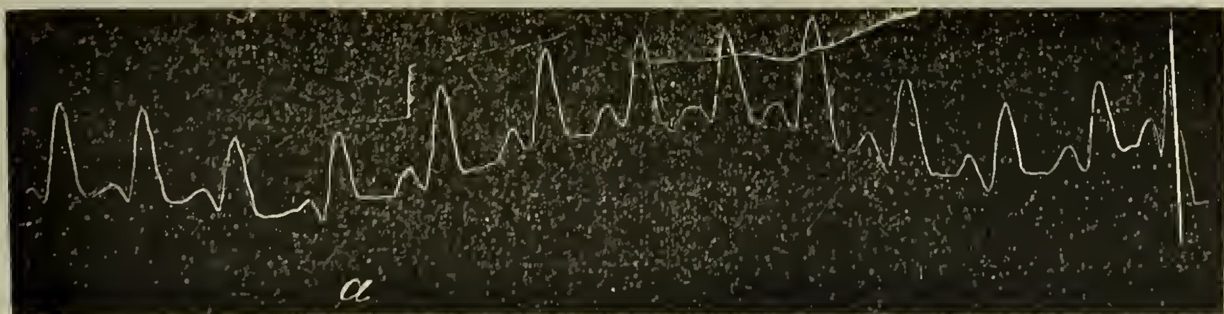
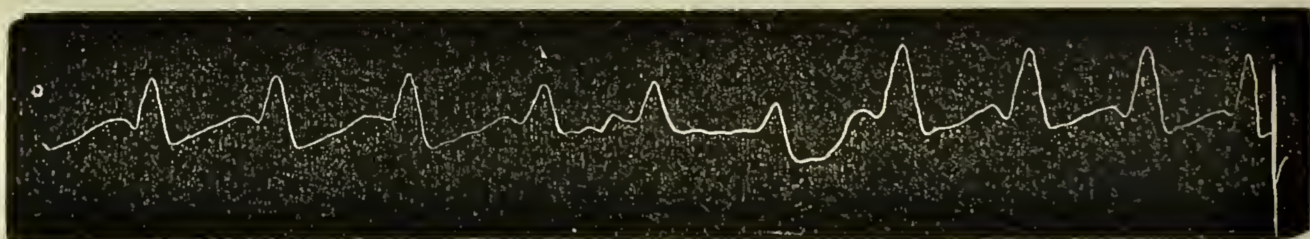


Fig. 26 ist in ihren ersten drei Vierteln gezeichnet während der Inspiration von comprimirter Luft und zwar nur bei $^{1}/_{90}$ Atm. Ueberdruck. Etwas vor a liess ich nun genau zur Zeit einer beginnenden Inspiration durch einen Assistirenden den Druck im pneumatischen Apparat durch Zusetzen von 5 Kilogr. auf $^{1}/_{50}$ Atm. erhöhen. Dem entsprechend musste der Blutdruck im arteriellen System um ein gewisses Mass wachsen und demgemäss sehen wir auch von da ab, dass die vorher nur schwach angedeuteten Oscillationen im aufsteigenden Schenkel nun plötzlich ganz markirt zu Tage treten. — Sehr charakteristisch und hierhergehörig sind auch die Oscillationen bei erhöhtem Blutdruck in Fig. 12, 16 u. 17.

In Fig. 27 ist folgendes zu erkennen. Die Curve stammt von einer gesunden Frau, die übrigens im Laufe des Tages wegen einer Neuralgie circa 0,8 Chinin gebraucht hatte. Die ersten 4 Pulswellen zeigen ausgeprägte Oscillationen in beiden

Fig. 27.



Curvenschenkeln; nun liess ich durch rasche Inspiration den Blutdruck erniedrigen; während dieser Phase verschwinden die Oscillationen und treten erst von der 8. Pulswelle ab, wo der ursprüngliche Blutdruck nahezu erreicht ist, wieder auf, wenn auch noch nicht in der anfänglichen Stärke.

Von besonderem Interesse sind die Ergebnisse des folgenden Versuches.

Nachdem der Sphygmograph einem gesunden jungen Mann, dessen Curven ich kannte, angelegt war, liess ich den nervus medianus desselben Armes durch einen schwachen electrischen Strom reizen. Ich setzte voraus, dass schwache Tonisirung der Muskeln des Vorderarmes den capillären Blutstrom und den Abfluss des venösen Blutes in gewissem Grade hindern und

somit durch Vermehrung der Widerstände der Blutdruck in den Arterien steigen würde. In diesem Fall müssten meinen bisher entwickelten Anschauungen gemäss die Oscillationen an den Curvenschenkeln deutlicher werden.

Fig. 28.

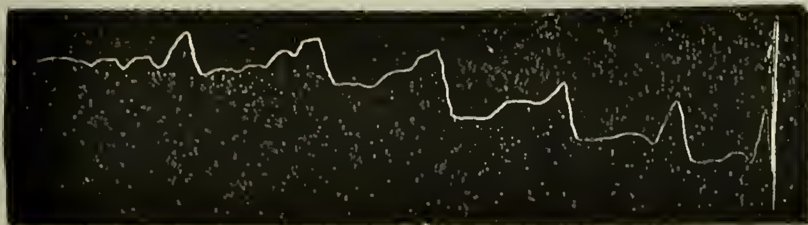


Fig. 28 zeigt die erste Pulswelle noch normal; unmittelbar darauf begann die electrische Reizung des medianus. Sofort steigt der Blutdruck, wie man zunächst aus der Erhebung der Curve über die Grundlinie ersieht, ausserdem wird die Rückstosselevation äusserst flach, die 4. u. 5. Pulswelle zeigen schon Anakrotismus und aus dem pulsus celer wird ein höchst charakteristischer pulsus tardus, d. h. durch die vermehrte Blutmenge im Gefässrohr werden die Gipfel der Pulswellen breit, der absteigende Curvenschenkel wird auffällig weniger steil abfallend, sondern schräg. In der letzten Pulswelle ist schon das Nachlassen der Erscheinungen wieder erkennbar.

Ganz gleichartig und proportional diesen Effecten sieht man die Oscillationen im aufsteigenden Schenkel sich steigern.

Fig. 29.

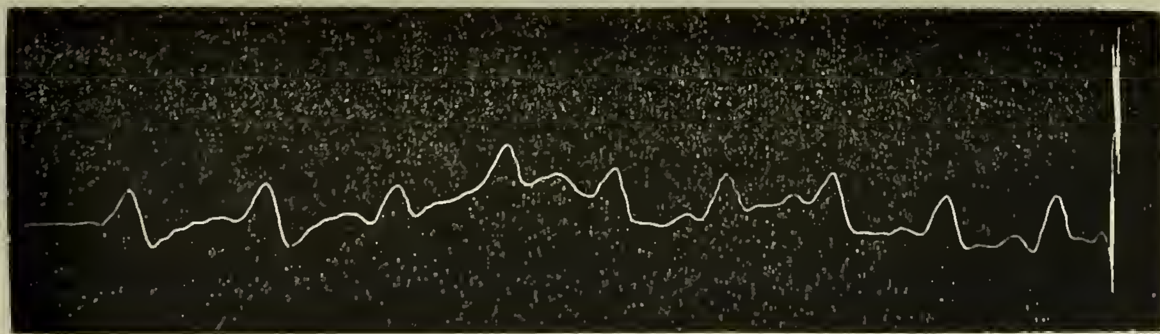


Fig. 29 zeigt dieselben Vorgänge; auch hier begann die electrische Reizung nach der ersten noch normalen Pulswelle.

Ueberraschend war es mir, dass nach dem Aussetzen der electrischen Reizungen eine Nachwirkung sich noch längere

Zeit am Gefässsystem durch die Zeichen des behinderten venösen Blutflusses erkennen liess.

Fig. 30.

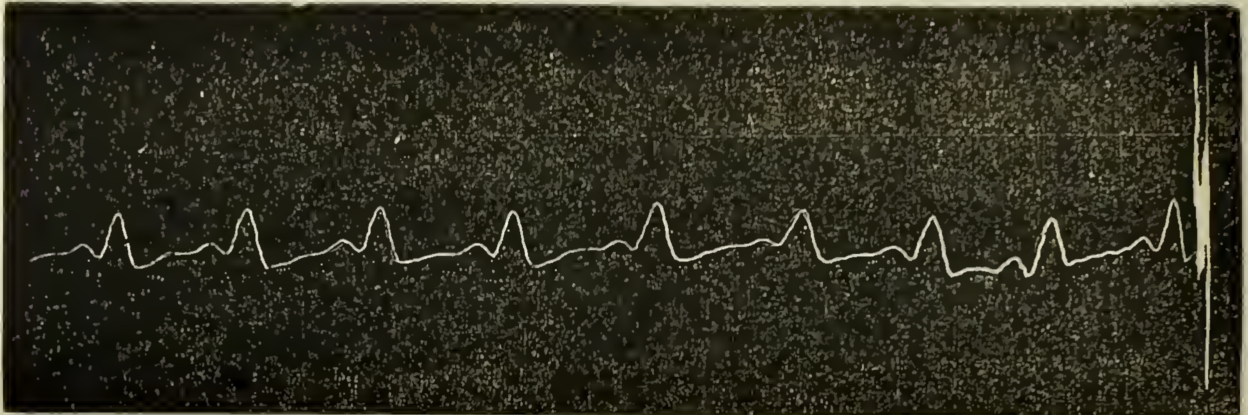
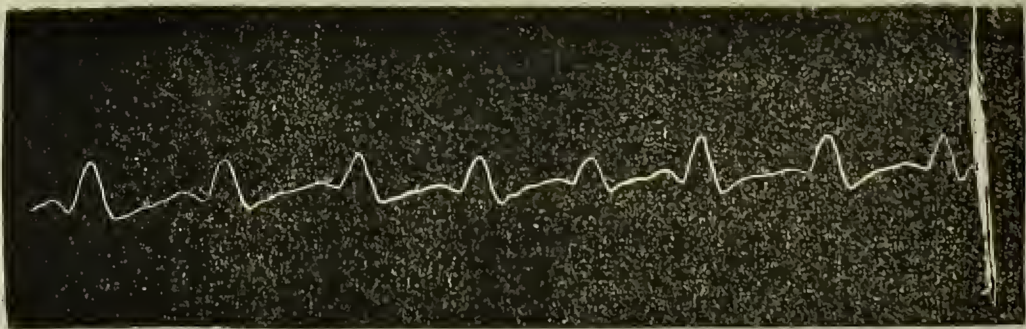


Fig. 30 ist 13 Minuten nach der letzten Reizung gezeichnet; zwar sind die Rückstosselevationen schon wieder etwas tiefer geworden, indess die Oscillationen in den auf- und absteigenden Curvenschenkeln sind noch sehr prägnant. Die Curve erinnert besonders in ihrer zweiten Hälfte auffällig an die, welche in Fig. 11, 21, 22 von Mitralklappen-Kranken, also ebenfalls von solchen, bei denen Stauungen im Venensystem bestanden, entnommen sind.

Fig. 31.



Erst 25 Minuten nachher ist, wie in Fig. 31 zu sehen, von den Oscillationen im aufsteigenden und absteigenden Curvenschenkel nichts mehr als schwache, den normalen Verhältnissen entsprechende Andeutungen zu bemerken.

Es liegt hierin ein äusserst interessanter Hinweis darauf, welche Widerstände noch energischere und länger dauernde Muskelcontractionen der Arbeit des Herzens entgegensetzen müssen, und wirft diese Beobachtung auf den neuerdings hervorgehobenen Zusammenhang zwischen körperlicher Ueberan-

strengung und Herzkrankheiten ein helles Licht. — Ob und wieweit bei diesem Versuch eine Einwirkung auf die vasomotorischen Nerven etwa eine Rolle mitspielt, wage ich nicht zu entscheiden, so sehr ich geneigt bin, grade die Nachwirkungs-Erscheinungen (Fig. 30) hierauf zu beziehen.

Bei allen 4 Curven war die Arterie gleich stark und zwar mit 280 Gramm belastet; in den Zwischenzeiten zwischen den verschiedenen Registrirungen wurde sie stets von den Gewichten befreit, während der Arm unverrückt liegen blieb.

Wenn die vorstehende Deutung der Erscheinungen richtig war, musste auch jedes durch äussere Compression der Armvenen bewirkte Hinderniss für den Blutabfluss aus dem Arm den Druck in der Arteria radialis entsprechend steigern und die Oscillationen verstärken.

Fig. 32 ist die vor dem folgenden Experiment gezeichnete Normalcurve eines jungen Mannes bei 280 Gramm Belastung.

Fig. 32.

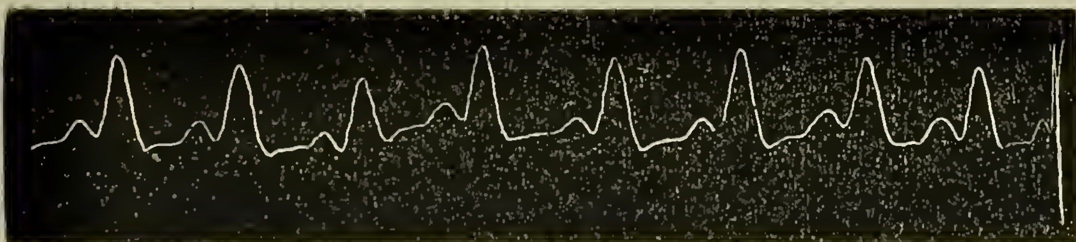
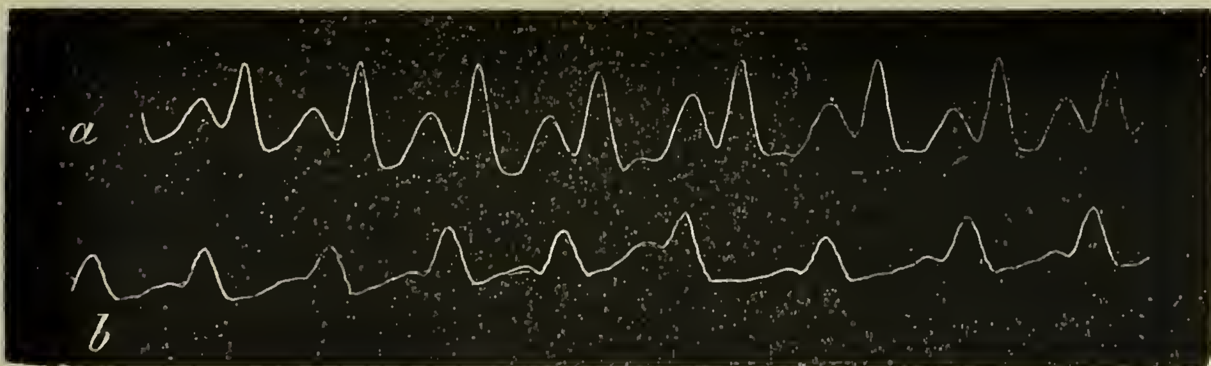


Fig. 33.



In ihr sind einzelne Oscillationen in den uns interessirenden Curvenabschnitten zu sehen. Hierauf legte ich um den unteren Theil des Oberarms bei mässig fester Anschlingung eine Aderlassbinde. Die darnach verzeichnete Curve entsprach beinahe ganz derjenigen in Fig. 33 b. Durch festeres Anziehen der Binde dachte ich den Effect noch zu steigern. Danach er-

gab sich aber bei gleicher Belastung die Curve von Fig. 33a. Aus dieser demonstrirte ich dem mir assistirenden Herrn cand. med. Ollendorf, — dem ich für seine Bereitwilligkeit und Hülfe bei den meisten meiner Versuche zu grossem Danke verpflichtet bin — dass wir unzweifelhaft jetzt bereits die arteria brachialis mit comprimirt hätten, denn die excessive Grösse der Rückstosselevationen (puls. dicrotus) könnte nur auf eingetretene Blutarmuth und geringen Druck in der art. radialis bezogen werden. (Vgl. hierzu Fig. 14 und die dabei gegebenen Erörterungen.) Diesen selben Umständen sei es auch zuzuschreiben, dass jede Spur von Oscillationen in beiden Schenkeln verschwunden ist.

Mit Sicherheit müssten wir die Zeichen des erhöhten Blutdrucks und mit diesem die Oscillationen hervorrufen, wenn wir die Binde nur um ein Weniges lockerten, um durch dieselbe wohl die Venen aber nicht mehr die Arterie zu comprimiren.

Die unmittelbar danach (2 Minuten) unter diesen Bedingungen und auf dasselbe Täfelchen gezeichnete Curve ist Fig. 33b, in der alles Erwartete deutlich in Erscheinung trat. Auch diese entspricht denen, die ich bei Mitralklappenkrankheiten gefunden habe.

Ein besonders beachtenswerthes und in diagnostischer Beziehung wichtiges Phänomen ist ausserdem in Fig. 33a die mehrfach vorhandene Verwischung der unter normalen Verhältnissen scharfen Grenzen zwischen dem Ende der einen Pulswelle und dem Anfang der nächsten durch eine Bogenlinie.

Von einer derartigen Beobachtung ist in der Sphygmographie bisher nicht die Rede gewesen.

Die Ursache für ein derartiges Vorkommniss kann generell nur eine sein, nämlich langsameres Einströmen des Blutes in das untersuchte Gefäss; dies wird speciell bewirkt werden entweder dadurch, dass die Triebkraft des Herzens im Beginn der Systole eine verminderte ist, oder dass ein Hinderniss in der arteriellen Blutbahn des untersuchten Gefässes besteht.

Wo wir statt des scharfen Einsetzens des aufsteigenden Curvenschenkels die oben erwähnte Aenderung ausgesprochen

vorfinden, müssen wir in Zukunft diese beiden Möglichkeiten diagnostisch ins Auge fassen. Dass die zweite Ursache hier vorliegt, ist durch die obigen Auseinandersetzungen bewiesen, dass die andere an der menschlichen art. radialis den gleichen Effect macht, sehen wir deutlich aus einzelnen Pulscurvenbildern in den Figuren 1, 7, 8, 10, 14, 27 und zwar stets bei Blutdruckserniedrigung durch Verminderung der Triebkraft des Herzens in Folge des durch die Inspiration gesteigerten negativen Druckes der Lungen auf das Herz.

Wir sehen diese Anschauungen ferner durch die Gegensätze bestätigt, insofern nämlich bei Blutdruckssteigerung durch grössere Energie der Herzaction die Grenze zwischen dem ab- und aufsteigenden Curvenschenkel sehr scharf markirt ist. (Vergl. die Figuren 1, 10, 12, 14, 16, 17, 23—25, 27, 34.)

Den allmähligen Uebergang aus der bogenförmigen zu spitzwinkeligen Grenze der benachbarten Pulswellen bei Vorhandensein aller sonstigen Zeichen gesteigerter Herzaction und ganz congruent mit dieser illustrirt in classischer Weise Fig. 10 von der 4.—8. Pulswelle.

Wir sind danach auch in der Lage den 5 bekannten Sätzen auf Seite 12 über die Pulsbeeinflussung durch die Respirationsphasen folgenden neuen hinzuzufügen:

> Während der Verminderung der Herzaction bei der Inspiration wird die Grenze zwischen zwei Einzelpulsen immer weniger scharf und unter Umständen eine nichtunterbrochene mehr oder minder tiefe Bogenlinie, während der Steigerung der Herzenergie bei der Exspiration wird diese Grenze zunehmend schärfer und spitzwinkliger.

Dafür, dass auch pathologische active Blutdrucksteigerung durch Hypertrophie des linken Ventrikels die gleichen Consequenzen an der Pulscurve erzeugt, spricht schliesslich noch der nachfolgende Befund.

Fig. 34.

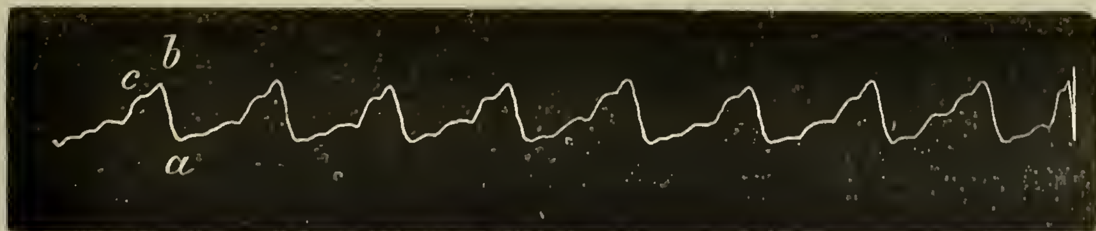


Fig. 35.

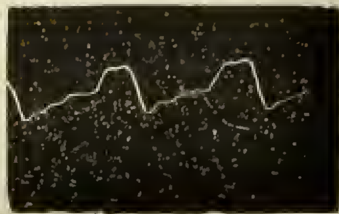


Fig. 34 ist die Pulscurve von einer 32jährigen Frau mit lange bestehender Insuff. valv. aortae und erheblicher Hypertrophie des linken Ventrikels. Die Curve zeigt zufolge der starken Spannung der Gefässwand durch hohen systolischen Druck zunächst die bekannten Erscheinungen des Anakrotismus. In Fig. 34 ist nämlich c der eigentliche Curvengipfel, a b c die anakrote Elevation. Diese Verhältnisse sind noch deutlicher ausgeprägt in Fig. 35, welche von derselben Frau mit etwas höherer Belastung der Arterie (250 gegen 220 Gramm in Fig. 34) genommen ist.

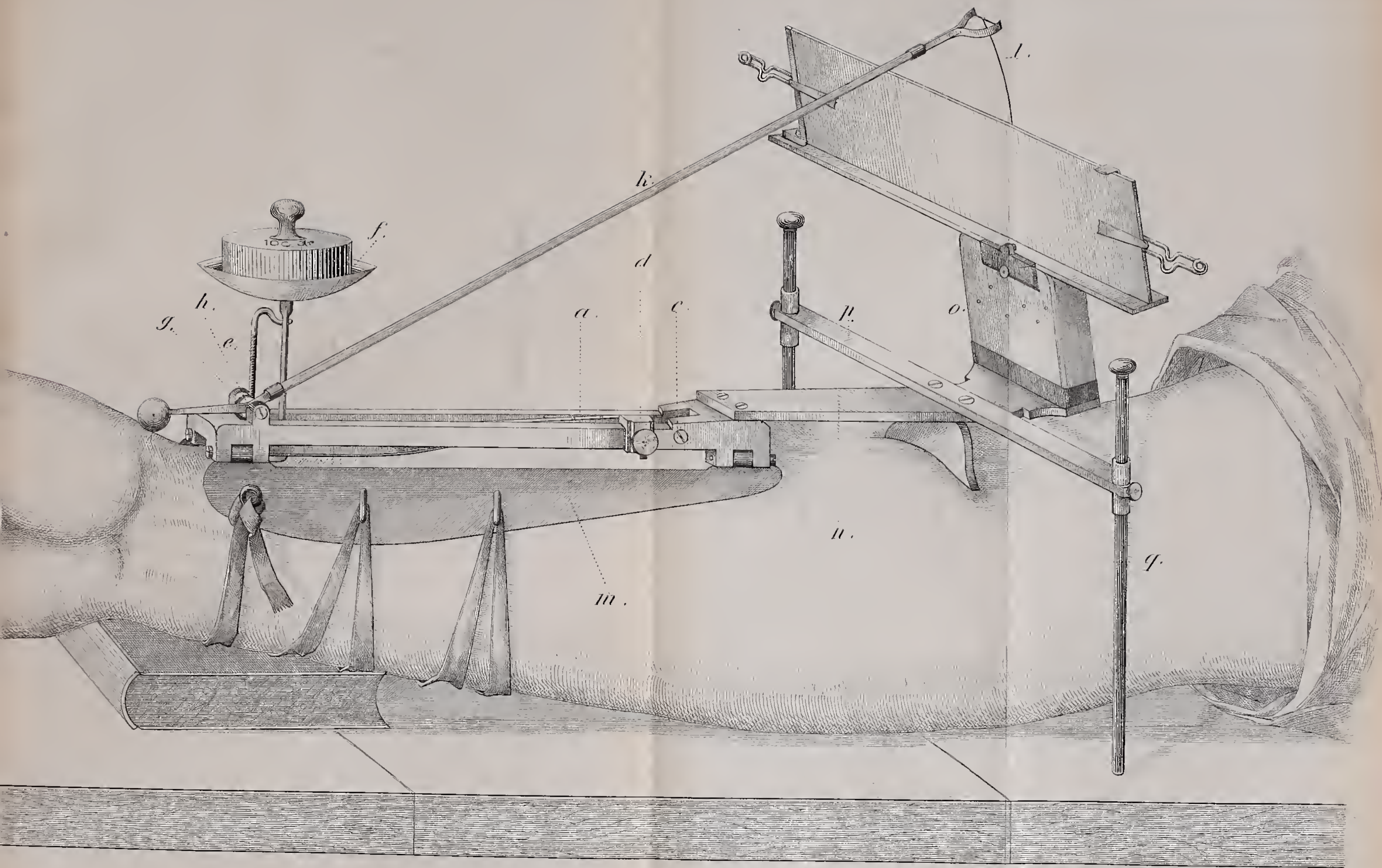
Es finden sich nun aber auch in allen aufsteigenden Curvenschenkeln der Fig. 34 die Oscillationen deutlich markirt, wodurch nebenbei der Unterschied, der zwischen anakroten Elevationen und Oscillationen im aufsteigenden Schenkel besteht, am besten illustrirt wird. Entsprechend der prägnanten graphischen Darstellung im aufsteigenden Schenkel zeigen sich die correspondirenden Effekte im absteigenden bis zur Rückstosselevation, ja selbst auch unterhalb derselben.

Ich glaube nicht, dass nach alle Dem noch ein Zweifel über die Bedeutung der Oscillationen an den Stellen, wo ich sie zuerst nachgewiesen habe, bestehen kann.

Der Nutzen, welcher der experimentellen Physiologie und Pathologie, der Diagnostik und einer exacteren Controle therapeutischer Maassnahmen besonders bei Herzkrankheiten aus ihrer Berücksichtigung erwachsen muss, liegt auf der Hand, wenn man bedenkt ein wie subtiles Reagens auf Schwankungen des Blutdruckes und der Spannung der Gefässwand wir in ihnen gewonnen haben.



Druck von Fiedler & Hentschel, Breslau.



l.
k.
f.
d
h.
a.
c.
g.
e.
p.
o.
n.
m.
q.